

Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku

Odjel za kemiju

Preddiplomski studij kemije

Evelina Lajčak

Karakterizacija hidrofilno modificiranih silikona

Završni rad

Mentor: doc.dr.sc. Berislav Marković

Osijek, 2015.

Sažetak

Ovaj rad opisuje karakteristike hidrofilno modificiranih silikona. Ukratko je opisano što su silikoni, kako se dobivaju i imenuju, te njihova svojstva i gdje se oni primjenjuju. Za izvođenje eksperimentalnog dijela korištena su dva uzorka silikona: LK-Ag-Platinum i LK-7300 koji su dobiveni od tvrtke ELKAY SILICONES. Određivala se viskoznost otopina silikona različitih koncentracija. Analiza uzoraka izvršila se FTIR-spektroskopijom. Iako je FTIR analiza pokazala da su ispitivani uzorci gotovo identični, odnosno da posjeduju iste funkcionalne skupine, uočeno je da se viskoznost ispitivanih uzoraka značajno razlikuje. Pretpostavlja se da se radi o sličnim polimerima, a razlikuju se po molekulskoj masi ili u konformaciji.

Ključne riječi: hidrofilno modificirani silikoni, LK-7300, LK-Ag-Platinum, viskoznost, IR-spektroskopija

Abstract

This work describes the characteristics of hydrophilically modified silicones. It briefly describes what silicones are, how to make them and name them, their properties and application. For the experiments, two samples of silicones were used: LK-Ag-Platinum and LK-7300, which were supplied by ELKAY SILICONES. The tests included viscosity measurements for aqueous silicone solutions of different concentrations. Analysis of samples was carried out also by FTIR spectroscopy. Although FTIR analysis showed that the test samples are almost identical, and that they have the same functional groups, it was observed that the sample viscosity is quite different. It can be assumed that the polymers are similar, but they differ in molecular weight or in the conformation.

Key words: hydrophilic modified silicones, LK-7300, LK-Ag-Platinum, viscosity, IR-spectroscopy

Sadržaj

1. Uvod.....	5
2. Literaturni dio	6
2.1. Silikoni	6
2.2. „Od pijeska do silikona“	7
2.3. Nomenklatura	8
2.4. Fizikalna i kemijska svojstva	9
2.5. Oblici silikona	10
2.5.1. Silikonske tekućine	11
2.5.2. Silikonske gume/elastomeri	12
2.5.3. Silikonske smole	14
2.5.4. Silikonski gelovi	14
2.5.5. Silikonska ulja	16
2.5.6. Silikonske masti i paste	16
2.6. Primjena silikona	16
2.7. Hidrofilno modificirani silikoni	17
2.7.1. Uzorak LK-Ag-Platinum	18
2.8. Viskoznost	19
2.9. FT-IR spektroskopija	22
3. Eksperimentalni dio	26
3.1. Priprema otopina	27
3.1.1. Priprema otopina LK-Ag-Platinum	27
3.1.2. Priprema otopina LK-7300	28
3.1.3. Priprema otopine KCl	29
3.1.4. Priprema otopine LK-7300 u elektrolitu	29
3.2. Određivanje viskoznosti	29
3.3. FTIR-spektroskopska analiza	30
4. Rezultati i diskusija	31
4.1. Viskoznost	31
4.1.1. Uzorak LK-Ag-Platinum	31
4.1.2. Uzorak LK-7300	33

4.1.3.	Uzorak LK-7300 u elektrolitu	35
4.2.	FTIR analiza	36
4.2.1.	Uzorak LK-Ag-Platinum.....	36
4.2.2.	Uzorak LK-7300.....	37
5.	Zaključak.....	38
6.	Literatura.....	39

1. Uvod

Silikoni su sintetički polimerni materijali koji sjedinjuju svojstva anorganskih i organskih polimera. Osnovnu strukturu silikona čini „anorganski kostur“ koji se sastoji od naizmjenično povezanih atoma silicija i kisika (siloksanski lanac). Organski dio predstavljaju organske skupine koje su vezane na atom silicija u osnovnom siloksanskom lancu. Svaki silikon je jedinstvena kombinacija molekularne težine, strukture i funkcionalnosti. Zbog svojih svojstava silikon nalaze primjenu u tisućama proizvoda i granama današnje industrije. Može se reći kako su silikon svugdje oko nas. No, zbog nekih karakterističnih svojstava kao što su: slaba reaktivnost, niska kompatibilnost s vodom i mala topljivost u polarnim i nepolarnim otapalima, nisu pogodni za neke primjene. Sve više se proučava i istražuje kako poboljšati njihova svojstva i umanjiti nedostatke. Jedan od načina da se to postigne je modifikacija polisiloksanskog lanca. Mijenjanjem duljine lanca, dodavanjem različitih organskih skupina u molekulu polisiloksana, te dodatkom različitih smjesa mogu se promijeniti njihova svojstva i ponašanje. Tako je dobiven niz modificiranih organo-polisiloksana sa širokim rasponom primjene.

Cilj ovoga rada je karakterizacija dva hidrofilno modificirana silikona: LK-7300 i LK-Ag-Platinum, te definirati koje organske skupine su vezane na njihov siloksanski kostur.

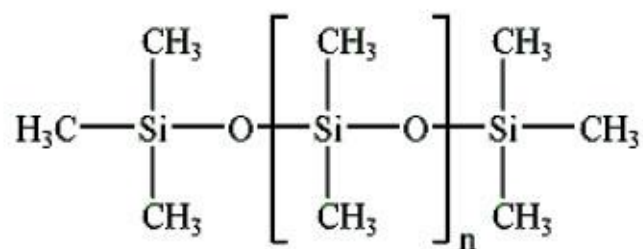
2. Literaturni dio

2.1. Silikoni

Silikoni su sintetički materijali koji čine posebnu vrstu kemijskih polimera ili dugolančanih molekula. Jedinstveni su u pogledu svoje kemije i upotrebljivi u širokom rasponu primjena. Može se reći kako silikoni sjedinjuju svojstva anorganskih i organskih polimera. Za razliku od organskih polimera, čiju strukturu čine lanci atoma ugljika, osnovni lanac silikona sastoji se od naizmjenično povezanih atoma silicija i kisika - siloksana (-O-Si-O-Si-O-). Svaki atom silicija povezan je s dva atoma kisika, a preostalim vezama na svaki atom silicija u osnovnom lancu vezana je jedna ili više istovrsnih ili raznovrsnih organskih skupina. Opća formula silikona je: $(R_2SiO)_n$.¹ Na atom silicija mogu se vezati različite organske skupine:

- metilna (CH₃-),
- fenilna (C₆H₅-),
- vinilna (CH₂CH-),
- etilna (C₂H₅-),
- propilna (C₃H₇-),
- i ostale organske skupine

Organske skupine mogu povezivati dva ili više polisiloksanskih lanaca stvarajući vrpce, slojeve ili trodimenzionalne mreže. Polidimetilsiloksani (PDMS) su osnovni predstavnici silikona, a njihovu strukturu prikazuje (Slika 1.). Njihov osnovni lanac čine $[(CH_3)_2SiO]_n$ jedinice. Na atom silicija u PDMSu vezane su dakle dvije metilne skupine.

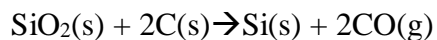


Slika 1. Struktura polidimetilsiloksana (PDMS)

¹ R predstavlja bilo koju organsku skupinu vezanu na siloksanski kostur. (n) predstavlja stupanj polimerizacije, odnosno broj ponavljajućih jedinica.

2.2. „Od pijeska do silikona“

Proizvodnja silikona kreće od silicija. Silicij (Si) je drugi najzastupljeniji element na Zemlji (u litosferi ~ 25%) iza kisika, iako ga u prirodi nema u elementarnom obliku. Pojavljuje se u obliku kvarca, SiO_2 (silicijev (IV) oksid) ili u raznim silikatima. Čisti silicij dobiva se redukcijom SiO_2 uz ugljik, na vrlo visokoj temperaturi. Dobiveni silicij se zatim hladi i usitnjava u fini prah.

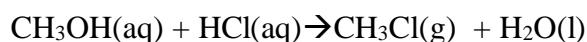


Iz silicija se zatim pripremaju silikoni kroz tri koraka:

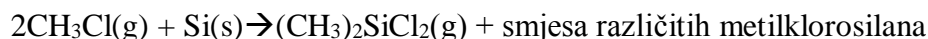
1. Sinteza klorosilana
2. Hidroliza klorosilana
3. Polimerizacija i polikondenzacija

1. Sinteza klorosilana

Klor metan (CH_3Cl) potreban za sintezu klorosilana dobiva se kondenzacijom metanola s klorovodičnom kiselinom:



Dobiveni klor metan reagira sa silicijem uz bakar kao katalizator, na temperaturi od 570K i tlaku od 1 do 5 bara. Dobiva se smjesa različitih metilklorosilana. Glavni produkt je dimetildiklorosilan, $(\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$.



Dobiveni klorosilani imaju bliska vrelišta i dimetildiklorosilan se od njih odvaja frakcijskom destilacijom.

2. Hidroliza klorosilana

Kada se klorosilani odvoje, prevode se u siloksane procesom hidrolize.

Hidrolizom dimetildiklorosilana u prisutnosti suviška vode, dobiva se disilanol koji u reakciji s klorovodičnom kiselinom daje smjesu cikličkih i linearnih polidimetilsiloksana u jednakom omjeru. Disilanolli su sami po sebi nestabilni. Uz klorovodičnu kiselinu kao katalizator, kondenziraju se u polidimetilsiloksane. Reakcije hidrolize i kondenzacije se odvijaju istovremeno. Brze su i spontane. Konačno se dobiva smjesa:

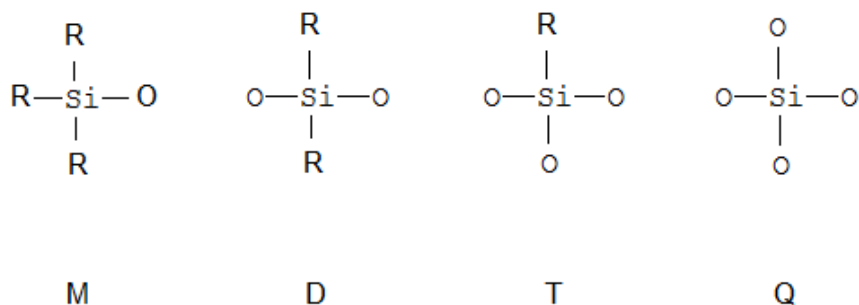
- cikličkih prstena s 3-6 ponavljajućih SiO jedinica
- linearni lanci koji mogu sadržavati od 30 do 50 ponavljajućih SiO jedinica

3. Polimerizacija i polikondenzacija

Linearni i ciklički oligomeri dobiveni u procesu hidrolize dimetildiklorosilana imaju prekratke lance za razne primjene. Da bi se dobili lanci veće duljine, linearni oligomeri se polikondenziraju, a ciklički polimeriziraju. Tijekom procesa polimerizacije i polikondenzacije koriste se kiselo-bazni katalizatori. Nastale makromolekule sadrže ponavljane jedinice prisutnih monomera, a svojstva nastalog polimera ovise o udjelu, vrsti i strukturi monomernih jedinica.

2.3. Nomenklatura

Nomenklatura silikona se bazira na skupinama koje su prisutne u molekuli. Za pojednostavljeni prikaz kompliciranih silikonskih jedinica upotrebljavaju se slova: M, D, T i Q, a ona prikazuju broj atoma kisika vezanih na atom silicija (Slika 2.).



Slika 2. Silikonske jedinice i oznake koje su karakteristične za pojedinu strukturu

„M“ – monosupstituirani (jedan atom kisika vezan na atom silicija). M jedinica obično predstavlja kraj lanca.

„D“ – disupstituirani (dva atoma kisika vezana na atom silicija). Slovom D obično su prikazane glavne jedinice $(\text{CH}_3)_2\text{SiO}$ u polidimetilsiloksanima i ono označava da su dva atoma kisika vezana na atom silicija (disupstituirani), te da se ova jedinica može proširiti u polimer u dva smjera.

„T“ – trisupstituirani (tri atoma kisika vezana na atom silicija).

„Q“ – tetrasupstituirani (četiri atoma kisika vezana na atom silicija).

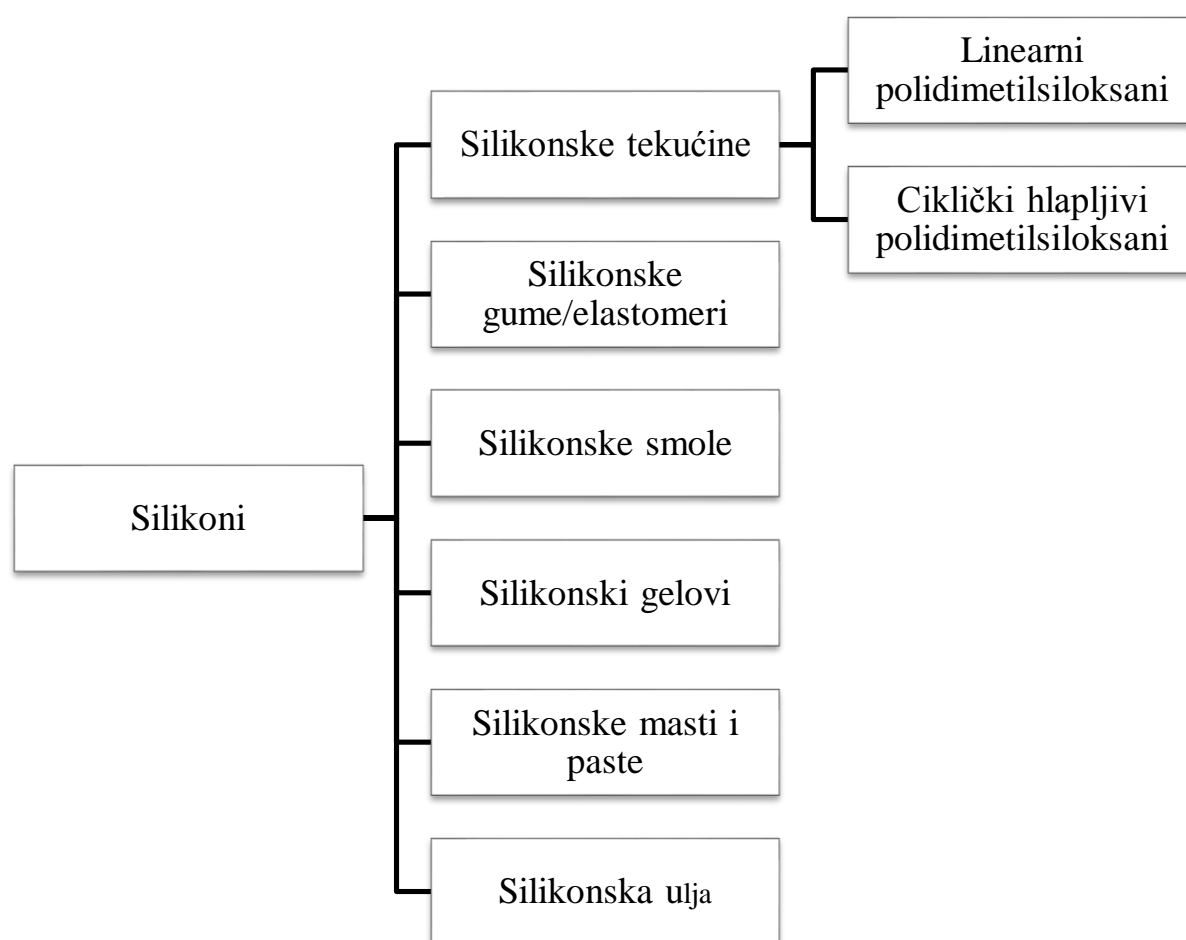
2.4. Fizikalna i kemijska svojstva

Prisutnost organskih skupina vezanih na anorganski kostur daje silikonima kombinaciju izvanredne raznolikosti i jedinstvenih svojstava. Ova svojstva ovise o molekulskoj masi, strukturi, duljini lanca, te o vrsti prisutnih organskih skupina. Neka od karakterističnih svojstva uključuju:

- Nisku površinsku napetost
- Veliku termičku stabilnost (zbog visoke energije Si-O veze)
- Kemijsku stabilnost (inertni)
- Otpornost na oksidaciju
- Otpornost na vremenske utjecaje
- Otpornost na različite kemikalije
- Odsutnost boje i mirisa
- Mali utjecaj temperature na fizikalna svojstva (npr. viskoznost)
- Hidrofobnost / hidrofilnost
- Ne miješaju se s većinom organskih otapala
- Nevodljivost

2.5. Oblici silikona

Svaki silikon je jedinstvena kombinacija molekularne težine, strukture i funkcionalnosti. Mijenjanjem duljine polisiloksanskog lanca, supstituiranjem organskih skupina, te dodatkom različitih smjesa, mogu se promijeniti njihova svojstva i ponašanje. Mijenjanjem tih varijabli dobivaju se razni oblici silikona, različitih svojstava koji su pogodni za razne primjene. Silikoni se javljaju u mnogim oblicima - od silikonskih tekućina, silikonskih smola, gelova, masti i pasta, do krute plastike i fleksibilne silikonske gume. Iz ove osnovne podjele silikonskih materijala nastaje tisuće jedinstvenih silikonskih proizvoda.



Silikonske tekućine, ulja, paste i masti - obično linearni siloksani.

Silikonske gume i smole – umreženi siloksani.

2.5.1. Silikonske tekućine

Dvije su osnovne strukture silikonskih tekućina:

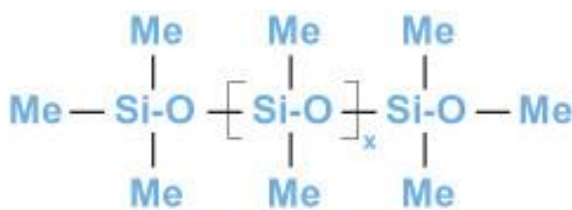
- linearni polidimetilsiloksani (PDMS)
- ciklički hlapljivi metilsiloksani (VMS)

Linearni polidimetilsiloksani (PDMS)

Lanci PDMS tekućina mogu imati od 2 do 1000 atoma silicija (Slika 3.). Duži lanci imaju veći stupanj polimerizacije i veću molekulsku težinu. Zbog velike molekulske težine imaju veću viskoznost.

Svojstva :

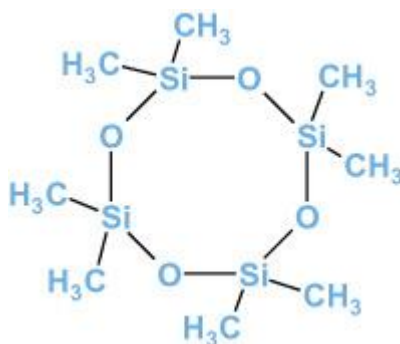
- Bistre, bezbojne tekućine bez mirisa
- Imaju malu površinsku napetost
- Inertne su
- Netopive su u vodi, dok se dobro otapaju u ugljikovodicima



Slika 3. Linearni polidimetilsiloksani

Ciklički hlapljivi metilsiloksani (VMS)

Metilirani ciklosiloksani kategorizirani su kao hlapljivi ciklički metilsiloksani (Slika 4.). U kozmetičkoj industriji poznati su kao ciklometikoni. Razlikuju se po broju siloksanskih jedinica u prstenu. Imaju nisku viskoznost i nereaktivni su.

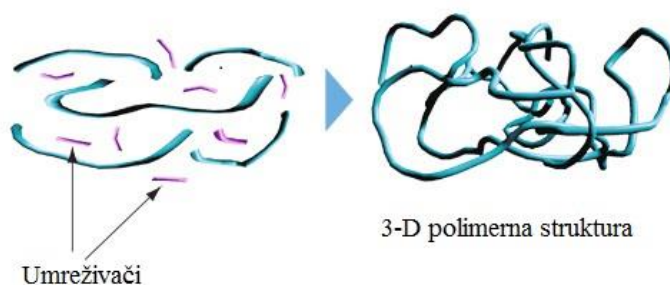


Slika 4. Ciklički metilsiloksani

2.5.2. Silikonske gume/elastomeri

Silikonski elastomeri su umrežene linearne silikonske tekućine ili gume s trodimenzionalnom strukturom (Slika 5.). Imaju elastična svojstva. Nemaju točno definiranu molekulsku masu i njihova fizikalna svojstva određena su stupnjem polimerizacije. Sadrže punila i umreživače (npr. SiO₂, kvarc, metalni oksidi).

Silikonski polimer + punilo + umreživač = ELASTOMER



Slika 5. Trodimenzionalna struktura silikonskih elastomera

Svojstva:

- Izvrsna termička stabilnost (stabilni su na temperaturama od -40 do 200°C).
- Vrlo su fleksibilni (temperatura na utječe na fleksibilnost).
- Imaju izvrsna električna izolacijska svojstva.
- Visoka toplinska vodljivost.
- Otporni su na: UV zračenje, vremenske utjecaje, širok raspon tekućina i kemikalija.

Primjena:

izrada brtvila i ljepila (kitovi za ispune i lijepljenje), izrada kalupa za repliciranje umjetničkih predmeta (Slika 6.), kalupa za pečenje kolača, izrada medicinskih cjevčica (transfuzijske i infuzijske cijevi, kateteri, srčani zalistci, kontaktne leće), proizvodnja i pakiranje hrane, izrada tipkovnica, zaštitne opreme i maski, sportske opreme i igračaka itd. (Slika 7.)



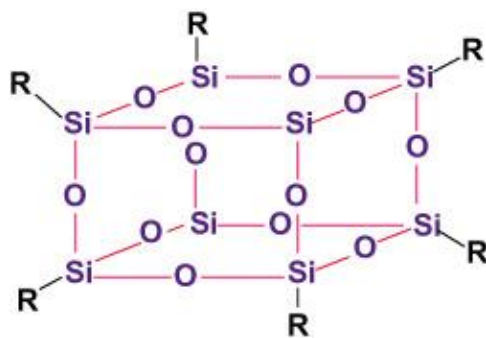
Slika 6. Upotreba silikona za izradu kalupa za repliciranje umjetničkih predmeta.



Slika 7. Neke od primjena silikona

2.5.3. Silikonske smole

Povezane, trodimenzionalne mreže koje čine razgranati siloksanski lanci. Imaju kompleksne strukture s kompleksnim svojstvima (Slika 8.). Ne sadrže punila. Dodavanjem različitih skupina na silicij i ovisno o omjeru razgranatih i linearnih siloksana dobivaju se silikonske smole koje imaju brojne primjene.



Slika 8. Struktura silikonske smole

Svojstva:

- Poboljšavaju sjaj i intenzitet boje.
- Termički su stabilne.
- Otporne su na koroziju, vlagu, vremenske utjecaje, UV zračenje, udarce.

Primjena :

- Koriste se kao silikonski lakovi: premazi za peći, grijalice, cijevi dimnjaka, ispušne cijevi automobila, glačala i sl.
- Kao emulzije: za impregnaciju betona i ciglenih zidova, te u fasadnim sustavima.

2.5.4. Silikonski gelovi

Silikonski gelovi su „lagano“ umrežene silikonske tekućine. Baziraju se na polidimetilsiloksanima. Kao i silikonski elastomeri, imaju trodimenzionalnu strukturu, no manje reaktivnih mjesta i veću molekulsku masu, te su zbog toga više isprepleteni. Ne sadrže punila.

Primjena :

koriste se u elektronici kao izolacijski materijali za zaštitu elektroničkih sklopova. Također se koriste u kozmetičkoj industriji u proizvodima za osobnu njegu i higijenu. Povećavaju viskoznost i omogućavaju da se proizvod dobro razmazuje. Oni povećavaju stabilnost suspenzija. Pružaju glatkoću i svilenkasti osjećaj na koži i kosi. Silikoni su pomoćni sastojci u gotovo svim kozmetičkim proizvodima i nalaze se svugdje: u kremama za njegu lica i tijela, šamponima, maskama, regeneratorsima, dekorativnoj kozmetici (puderi, rumenila, ruževi, sjenila itd.), proizvodima za sunčanje. Također, koriste se kao punjenja za implantate koji se koriste u estetskoj kirurgiji (Slika 9.). Koriste se i za prevenciju ožiljaka kod svježih zaraslih rana u obliku gela i silikonskih flastera (Slika 10.). Klinički je testirano i dokazano je da izravnavaju, omekšavaju ožiljke koji su posljedica ozljeda, opekline, akni i kirurških zahvata.



Slika 9. Silikonski implantat koji se koristi u estetskoj kirurgiji



Slika 10. Silikonski flaster koji se koristi za prevenciju ožiljaka

2.5.5.Silikonska ulja

To su glavnom polidimetilsiloksani i polimetilfenilsiloksani. Imaju lančastu strukturu. Zbog termičke stabilnosti i male hlapljivosti koriste se kao fluidi za prijenos topline. Površini daju sjaj i glatkoću. Koriste se u kozmetičkoj i farmaceutskoj industriji. Kao pomoćni sastojci nalaze se u gotovo svim kozmetičkim proizvodima, te u proizvodima za osobnu higijenu i njegu: u kremama za njegu lica i tijela, šamponima, maskama, regeneritorima, dekorativnoj kozmetici (puderi, rumenila, ruževi, sjenila itd.), proizvodima za sunčanje.

2.5.6. Silikonske masti i paste

Dobivaju se miješanjem silikonskih ulja s različitim punilima.

2.6. Primjena silikona

Zbog mnogobrojnih i raznovrsnih oblika i svojstava, silikoni nalaze svoju primjenu u tisućama proizvoda današnje industrije.

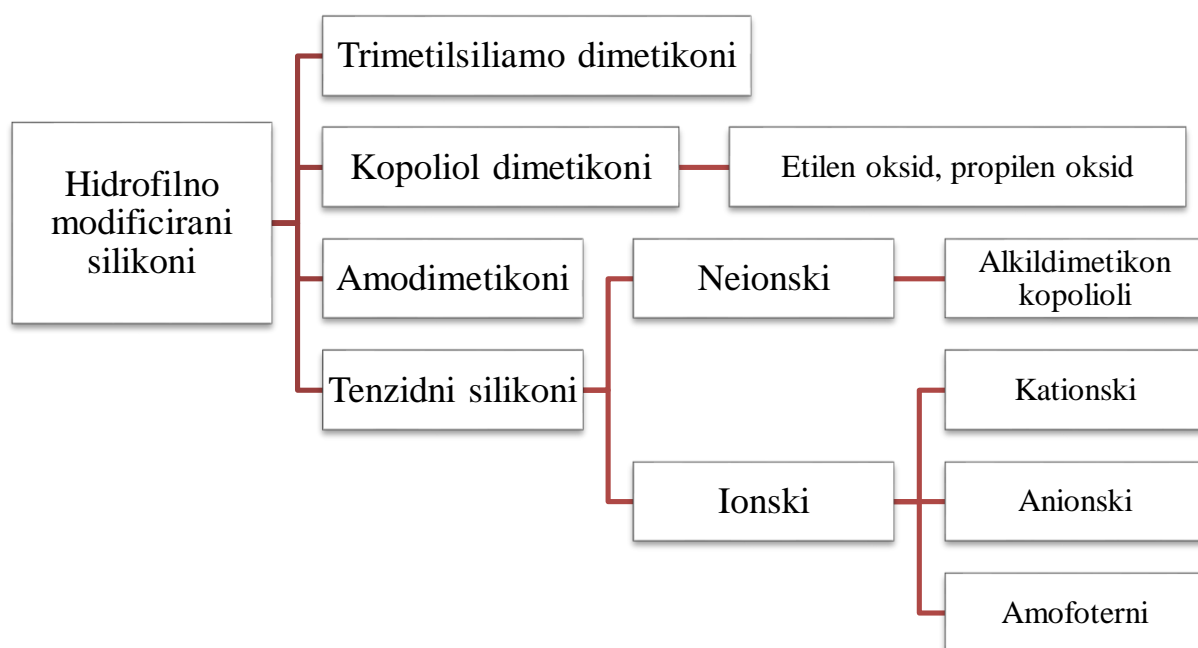
Koriste se u :

- Kozmetičkoj industriji
- Prehrambenoj industriji
- Tekstilnoj industriji
- U kućanstvu
- Medicini
- Potrošačkim proizvodima
- Elektronici
- U industriji boje i premaza
- Farmaceutskoj industriji

2.7. Hidrofilno modificirani silikoni

Silikoni nalaze primjenu u tisućama proizvoda i granama današnje industrije zahvaljujući njihovim jedinstvenim svojstvima. No, zbog nekih nedostataka, kao što su: slaba reaktivnost, niska kompatibilnost s vodom i niska topljivost u polarnim i nepolarnim otapalima, nisu pogodni za neke primjene. Ti nedostaci mogu se ispraviti modifikacijom polisiloksanskog lanca. Niz modificiranih organo-polisiloksana dobiven je supstitucijom metilnih skupina nekim drugim organskim skupinama u PDMS lancu koje će silikonima dati hidrofilna svojstva.

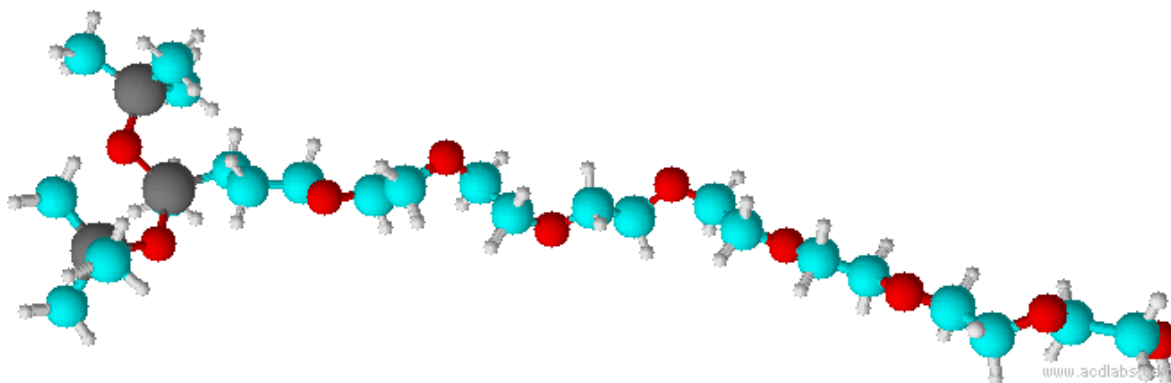
Podjela hidrofilno modificiranih silikona :



2.7.1. Uzorak LK-Ag-Platinum

Prema podacima dobivenim od tvrtke ELKAY SILICONES, uzorak LK-Ag-Platinum je trisiloksan polietar s formulom: $(\text{CH}_3)_3\text{Si}-\text{O}-\text{Si}(\text{CH}_3)\text{R}-\text{O}-\text{Si}(\text{CH}_3)_3$. Prema njegovoj se strukturi (Slika 11.) vidi kako se molekula sastoji od 2 dijela :

- Hidrofobni dio: trisiloksanski lanac.
- Hidrofilni dio: $\text{R} = \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-(\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O})_n-\text{H}$ ($n=7$)

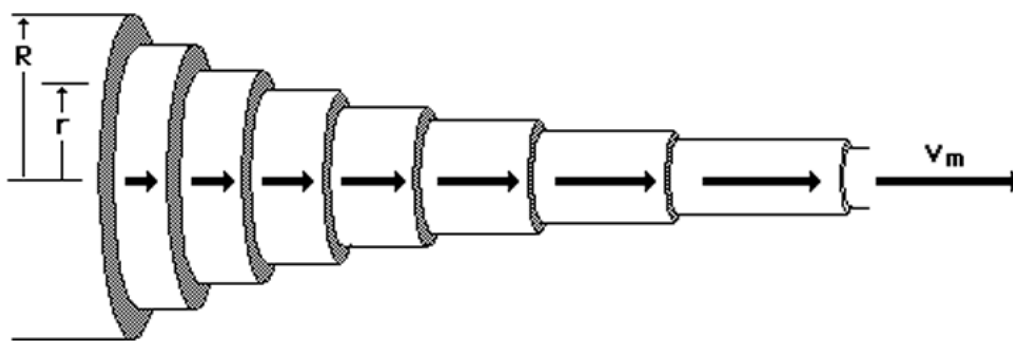


Slika 11. Molekulska struktura silikona LK-Ag-Platinum

Uzorak LK-7300 je PEG-12 Dimetikon (PEG - polietilen glikol, polietilenoksid) koji se koristi kao sredstvo za stvaranje pjene u preparatima za osobnu njegu. Njegova struktura nije poznata, no pretpostavlja se da je građen slično kao uzorak LK-Ag-Platinum.

2.8. Viskoznost

Viskoznost je jedna od glavnih fizikalnih osobina koju pokazuju i tekućine i plinovi (odnosno fluidi). Ona predstavlja mjeru unutrašnjeg trenja koje se javlja kao otpor koji jedan sloj fluida pruža protjecanju drugog sloja fluida. Dok protječe kroz cijev, tekućina se giba slojevito. Ti slojevi se gibaju usporedno (laminarno) jedan u odnosu na drugi, te usporedno sa stijenkama cijevi (Slika 12.). Dva paralelna sloja tekućine pomiču se u istom smjeru, ali različitim brzinama. Slojevi tekućine uz stijenku cijevi gibaju se najsporije (praktički miruju), dok se sloj tekućine koji se giba oko osi cijevi giba najbrže. Ta pojava je posljedica trenja tekućine sa stjenkama posude, kao i trenja između slojeva tekućine dok se međusobno gibaju.



Slika 12. Laminarno gibanje fluida

Između dva sloja javlja se sila trenja (F). Ta sila trenja, kojom slojevi tekućine djeluju jedan na drugi, razmjerna je ploštini dodirne površine A , te razlici brzina slojeva dv , a obrnuto razmjerna njihovom razmaku, dx .²

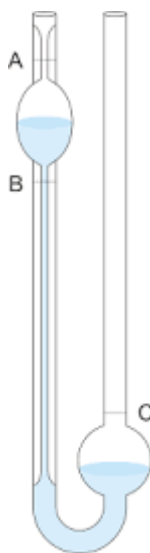
$$F = \eta A \frac{dv}{dx} \quad \text{iz čega slijedi: } \eta = \frac{F}{A \frac{dv}{dx}}$$

SI jedinica za viskoznost je : ($\text{Pa} \cdot \text{s}$). Ranije se koristila jedinica Poise ($1\text{P} = 10^{-1}\text{Pa}$). Viskoznost otopina ne ovisi samo o vrsti tvari od kojih se tekućina sastoji, nego i o njihovom obliku, veličini i kemijskoj prirodi molekula. Molekule koje imaju veću masu imaju općenito i veću viskoznost. Također, tekućine koje se sastoje od dugih molekula imaju veću viskoznost nego one koje se sastoje od sfernih molekula

² η -koeficijent viskoznosti izražen u Ns/m^2 , odnosno Pas (ovisi o temperaturi i vrsti tekućine), dv -razlika u brzini protjecanja slojeva izražena u m/s , dx -udaljenost između dva sloja izražena u m

Na viskoznost utječe temperatura. Pri stalnom tlaku, s povećanjem temperature viskoznost tekućine se smanjuje, jer se povišenjem temperature smanjuje djelovanje međumolekulskih sila zbog veće kinetičke energije čestica.

Postoje mnoge metode mjerenja viskoznosti među kojima je jedna od jednostavnijih i vrlo često korištena tzv. kapilarna metoda odnosno metoda određivanja viskoznosti pomoću Ostwaldovog viskozimetra (Slika 13.). To je poredbena metoda u kojoj se viskoznost nepoznate tekućine uspoređuje s tekućinom čija je viskoznost poznata (najčešće je to voda). Najprije se odredi vrijeme istjecanja standardne tekućine u volumenu između oznaka A i B na Ostwaldovom viskozimetru, a zatim se odredi vrijeme istjecanja nepoznate tekućine u istom volumenu.



Slika 13. Ostwaldov viskozimetar

Kada se odredi vrijeme istjecanja standardne tekućine (t_0) i vrijeme istjecanja ispitivane otopine može se izračunati **relativna viskoznost** pomoću relacije:

$$\eta_{\text{rel}} = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{t}{t_0}$$

Ova viskoznost naziva se apsolutna ili dinamička viskoznost. Pored dinamičke, definirana je i kinematička viskoznost. Koristi se za definiranje osobina samo čistih (jednokomponentnih) sustava.

Osim relativne viskoznosti mogu se izračunati i sljedeće viskoznosti:

SPECIFIČNA VISKOZNOST ($\eta_{specifična}$)

$$\eta_{specifična} = \frac{n - n_o}{\eta_o} = \frac{t - t_o}{t_o} = \eta_{rel} - 1$$

REDUCIRANA VISKOZNOST ($\eta_{reducirana}$)

$$\eta_{reducirana} = \frac{\eta_{specifična}}{c}$$

INHERENTNA VISKOZNOST ($\eta_{inherentna}$)

$$\eta_{inherentna} = \frac{\ln \eta_{relativna}}{c}$$

INTRINZIČNA VISKOZNOST ($\eta_{intrinzična}$)

$$\eta_{intrinzična} = \left(\frac{\eta_{specifična}}{c} \right)_{c \rightarrow 0} = \left(\frac{\ln \eta_{relativna}}{c} \right)_{c \rightarrow 0} = [\eta]$$

Intrinzična viskoznost $[\eta]$ je granična vrijednost reducirane ili inherentne viskoznosti pri beskonačnom razrjeđenju polimera. Ona ovisi o građi polimera i o odnosu polimer-otapalo. Intrinzična viskoznost odražava sposobnost polimera u otopini da poveća viskoznost otopine. Pomoću intrinzične viskoznosti može se odrediti molekulska masa polimera. Veza između intrinzične viskoznosti i molarne mase dana je Mark-Houwinkovom jednadžbom :

$$[\eta] = KM^\alpha$$

Gdje je: $[\eta]$ intrinzična viskoznost, M je molarna masa, a K i α su konstante za karakteristične za neku otopinu polimera. Parametri K i α određeni su eksperimentalnim mjerenjem viskoznosti različitih otopina polimera i ovise o kvaliteti polimera u određenom otapalu (u smislu građe, odnosno konformacije). K i α ovise o kvaliteti polimera u određenom otapalu. Iz K i α se mogu doznati izgled i karakteristike molekule, te konformacije.

2.9. FT-IR spektroskopija

Infracrvena spektroskopija (eng. Infrared Spectroscopy-IR) je jedna od metoda pomoću koje se može odrediti sastav nepoznatog uzorka propuštanjem infracrvenog zračenja kroz uzorak.

Infracrveno zračenje je elektromagnetsko zračenje koje karakteriziraju valne duljine od 0,7 μm do 500 μm . Unutar elektromagnetskog spektra zračenja, infracrveno područje nalazi se između vidljivog i mikrovalnog područja.

Spektroskopija u infracrvenom području temelji se na međudjelovanju infracrvenog zračenja s molekulama. Molekule apsorbiraju infracrveno elektromagnetsko zračenje valnih duljina koje odgovaraju vibracijskim energijama kemijskih veza, karakterističnim za vrstu veze i kemijsku skupinu koja vibrira.

Infracrveno zračenje može se podijeliti u tri područja kako je navedeno u Tablici 2. U području bliskog infracrvenog zračenja odvijaju se elektronski prijelazi za koje je potrebna niža energija i promjene u vibracijskim razinama molekula. U području srednjeg infracrvenog zračenja odvija se promjena vibracijskih razina većine molekula. U dalekom infracrvenom području (koje je bliže mikrovalnom zračenju) odvijaju se neke promjene u vibracijskim razinama, te se već opažaju promjene u rotacijskim razinama molekule.

Tablica 2. Područja infracrvenog zračenja

BLISKO	0,7 μm – 2,8 μm	1400 cm^{-1} – 3600 cm^{-1}
SREDNJE	2,8 μm – 50 μm	3600 cm^{-1} – 200 cm^{-1}
DALEKO	50 μm – 500 μm	200 cm^{-1} – 20 cm^{-1}

Do vibracija u molekuli dolazi kada molekuli dovedemo energiju (u obliku infracrvenog zračenja). Ako je frekvencija tog zračenja različita od unutrašnje frekvencije molekule ne događa se ništa. Dovedeno zračenje mora biti jednako frekvenciji kojom molekula oscilira duž svoje veze. Tada dolazi do rezonancije i molekula apsorbira IR zračenje točno određene frekvencije.

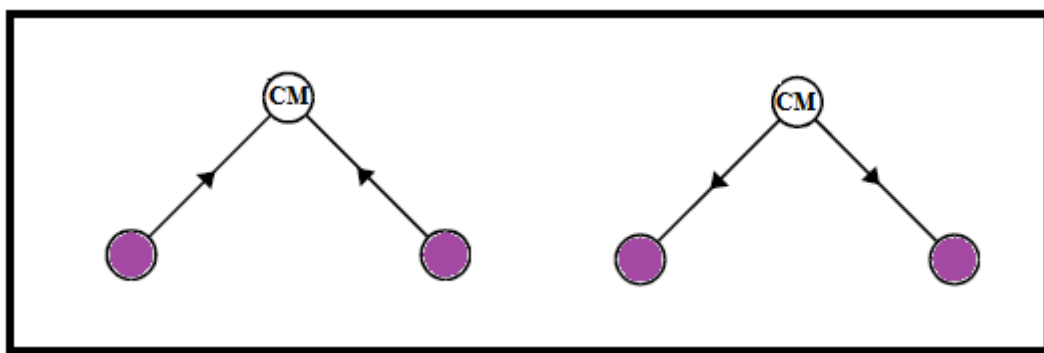
Da bi molekula mogla apsorbirati ili emitirati infracrveno zračenje mora imati dipolni moment. Što je dipolni moment veći, to će i intenzitet infracrvenog zračenja biti veći. Ako molekula ima dipolni moment, ona će reagirati s električnom komponentom infracrvenog zračenja i za takve se molekule kaže da su aktivne u infracrvenom području. Molekula ne mora imati stalni dipolni moment da bi apsorbirala infracrveno zračenje. U nekim slučajevima molekula može imati simetrično raspoređen naboj, no kada vibrira drugačijom amplitudom, može doći do promjene dipolnog momenta. Ukoliko molekule imaju simetričnu raspodjelu naboja, i nema promjene dipolnog momenta, kod njih ne dolazi do apsorpcije infracrvenog zračenja, pa su takve molekule neaktivne u infracrvenom području. Takve molekule propuštaju infracrveno zračenje.

Molekulske vibracije

Osnovna podjela molekulskih vibracija je na :

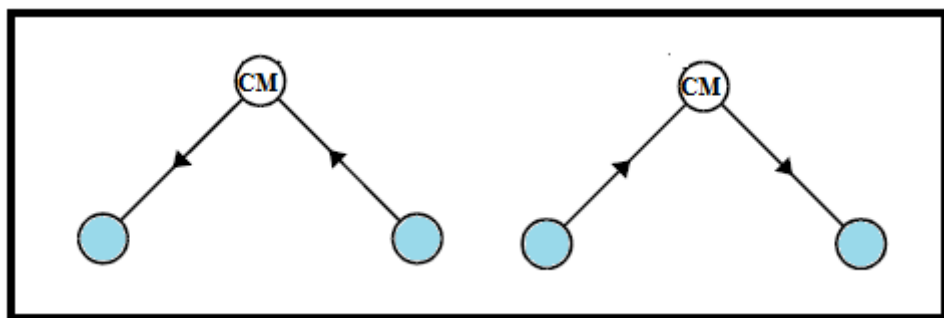
- vibracije istezanja
- vibracije deformacije

Vibracije istezanja mogu biti simetrične i antisimetrične. One se događaju duž međunuklearne osi. Simetrično istezanje se odvija kada se dvije jezgre istovremeno približavaju centru masa, ili se od njega udaljavaju (Slika 14.).



Slika 14. Simetrične vibracije istezanja

Antisimetrično istezanje je kad se jedna jezgra približava centru masa, a druga istovremeno udaljava (Slika 15.).

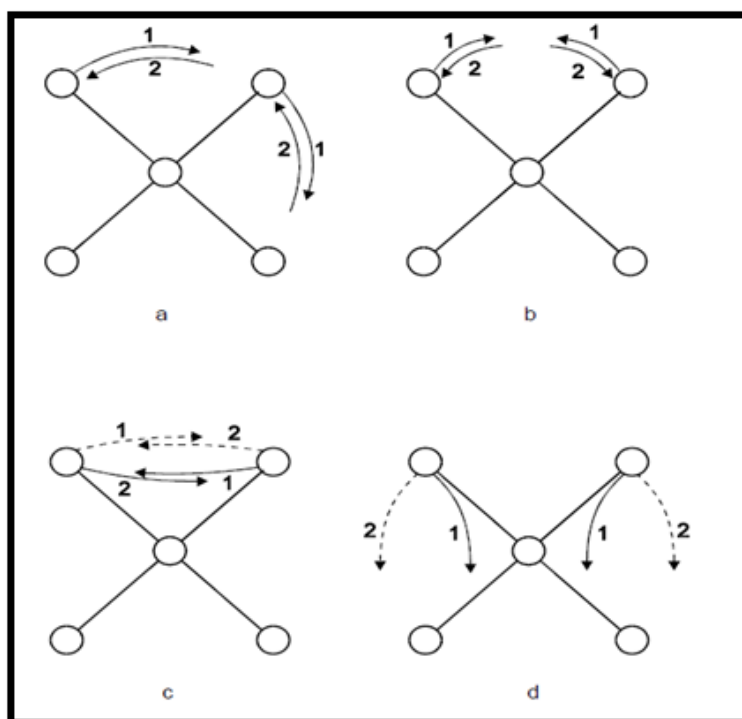


Slika 15. Antisimetrične vibracije istezanja

Vibracije deformacije uzrokuju promjenu kuta između dviju veza koje vibriraju (Slika 16.).

Vrste vibracija deformacije su:

- Njihanje (eng. rocking)
- Uvijanje (eng. twisting)
- Mahanje (eng. wagging)
- Deformacija u ravnini (eng. scissoring)



Slika 16. Vibracije deformacije višeatomne molekule

Svaka molekula ima karakteristične vibracije i zbog toga svaka molekula daje karakteristični spektar. Taj se dio spektra smatra „otiskom prsta“ molekule, pa se i zove područjem otiska prsta (eng. fingerprint region). Moguće je također odrediti od kojih se funkcionalnih skupina molekula sastoji. Pojedine skupine apsorbiraju u uskom području frekvencija, neovisno od ostalog dijela molekule. Te se frekvencije nazivaju frekvencijama funkcionalnih grupa.

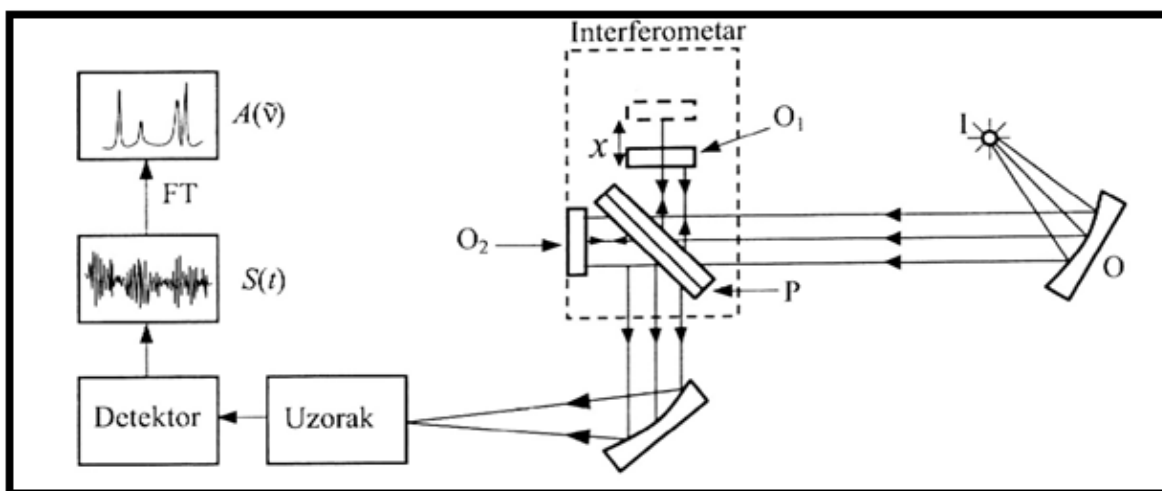
IR spektrofotometar

IR spektrofotometar je uređaj koji služi za kvalitativnu, kvantitativnu i strukturnu analizu materijala. Iz položaja i intenziteta apsorpcijskih vrpca infracrvenog spektra mogu se dobiti podaci o kemijskoj prirodi i molekularnoj građi ispitivane tvari. Postoje dvije vrste IR spektrofotometara:

- Disperzivni (IR spektrofotometri)
- FT–IR spektrofotometri (IR spektrofotometar koji koristi Fourier-ove transformacije)

FT-IR spektrometar

Osnovni dio FT-IR instrumenta je interferometar. Gotovo svi FT-IR spektrometri koriste Michelsonov interferometar s dvostrukim snopom, što podrazumijeva izvor zračenja, dva ogledala (fiksno i pokretno), detektor i računalo (Slika 17.). Michelsonov interferometar dijeli dolazni snop zračenja na dvije jednake zrake. Interferencija se događa kada se dvije zrake zračenja zbroje ili kombiniraju tako da tvore jedan signal. Jakost izlaznog snopa mjeri se detektorom. Rezultirajući signal naziva se interferogram. Interferogrami se dobijaju na osnovu generiranja putne razlike zračenja koje se ostvaruje u interferometru korištenjem pokretnog ogledala. Interferogram se zatim obrađuje u računalu gdje se prevodi u spektar korištenjem Fourierovih transformacija.



Slika 17. Shematski prikaz FT-IR spektrofotometra

FT-IR spektrofotometar ima brojne prednosti pred običnim disperzivnim spektrofotometrom, a neke od njih su:

- znatno brže snimanje i veća osjetljivost
- mogućnost višestrukog ponavljanja snimanja i zbrajanja interferograma
- širi spektralni opseg i mogućnost naknadnih popravki i prilagođavanja spektra
- ima visoku rezoluciju koja se može lako mijenjati u skladu s osobinama uzorka
- odjednom se snima cijeli spektar (na taj način se obuhvaća veliki broj valnih duljina)

3. Eksperimentalni dio

Za izvođenje eksperimentalnog dijela korištena su dva uzorka modificiranih silikona:

- LK-7300
- LK-Ag-Platinum

Uzorci silikona dobiveni su od tvrtke ELKAY SILICONES, Pune, Indija. Pripremljene su vodene otopine uzoraka silikona različitih koncentracija. Otopine su pripremljene vaganjem i razrjeđivanjem. Za pripremu otopina koristila se deionizirana voda. Otopine su se pripremle u čaši od 100 mL. Svaka otopina promiješana je na magnetskoj miješalici 10 minuta.

Viskoznost otopine se određivala pomoću Ostwaldovog viskozimetra na sobnoj temperaturi (23 - 24 °C), a za FTIR-spektroskopsku analizu koristio se Shimadzu FTIR 8400S spektrometar.

3.1. Priprema otopina

3.1.1. Priprema otopina LK-Ag-Platinum

OTOPINA 1 (1%-tna otopina)

Otopina je pripremljena vaganjem. U čaši od 100 mL odvagano je 0,515 g uzorka silikona LK-Ag-Platinum i 49,519 g deionizirane vode.

OTOPINA 2 (0,5%-tna otopina)

Otopina je pripremljena razrjeđivanjem. U čašu od 100 mL stavljeno je 10 mL otopine 1 (1%-tna) i 10 mL deionizirane vode.

OTOPINA 3 (2,5%-tna otopina)

Otopina je pripremljena razrjeđivanjem. U čašu od 100 mL stavljeno je 5 mL otopine 1 (1%-tna otopina) i 5 mL deionizirane vode.

OTOPINA 4 (10%-tna otopina)

Otopina je pripremljena vaganjem. U čaši od 100mL odvagano je 2,015 g uzorka silikona LK-Ag-Platinum i 18,029 g deionizirane vode.

OTOPINA 5 (5%-tna otopina)

Otopina je pripremljena razrjeđivanjem. U čašu od 100 mL stavljeno je 5 mL otopine 4 (10%-tna) i 5 mL deionizirane vode.

3.1.2. Priprema otopina LK-7300

OTOPINA 1 (*1%-tna otopina*)

Otopina je pripremljena vaganjem. U čaši od 100mL odvagano je 0,539 g uzorka silikona LK-7300 i 49,506 g deionizirane vode.

OTOPINA 2 (*0,5%-tna otopina*)

Otopina je pripremljena razrjeđivanjem. U čašu od 100 mL stavljeno je 5mL otopine 1 (1%-tna) i 5mL deionizirane vode.

OTOPINA 3 (*5%-tna otopina*)

Otopina je pripremljena vaganjem. U čaši od 100 mL odvagano je 1,001g uzorka silikona LK-7300 i 19,059 g deionizirane vode.

OTOPINA 4 (*2,5%-tna otopina*)

Otopina je pripremljena razrjeđivanjem. U čašu od 100 mL stavljeno je 5 mL otopine 2 (5%-tna otopina) i 5mL deionizirane vode.

OTOPINA 5 (*10%-tna otopina*)

Otopina je pripremljena vaganjem. U čaši od 100mL odvagano je 2,022 g uzorka silikona LK-7300 i 17,987 g deionizirane vode.

3.1.3. Priprema otopine KCl

Pripremljena je otopina KCl, koncentracije $0,01 \text{ mol dm}^{-3}$, u odmjernoj tikvici od 500 mL.

$$M(\text{KCl}) = 74,56 \text{ g mol}^{-1}$$

$$c(\text{KCl}) = 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$V = 500 \text{ mL} = 0,5 \text{ L} = 0,5 \text{ dm}^3$$

$$m = cVM$$

$$m = 0,01 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,5 \text{ dm}^3 \cdot 74,56 \text{ g mol}^{-1}$$

$$m = 0,372 \text{ g}$$

Izvagani KCl stavljen je u odmjernu tikvicu od 500 mL i tikvica je nadopunjena deioniziranom vodom do oznake.

3.1.4. Priprema otopine LK-7300 u elektrolitu

Kao elektrolit upotrijebljena je $0,01 \text{ mol dm}^{-3}$ otopina KCl te 5%-tna otopina uzorka silikona LK-7300 u njoj.

Otopina je pripremljena vaganjem. U čaši od 100 mL odvagano je 1,001 g uzorka silikona LK-7300 i 19,059 g otopine KCl. Ovo mjerenje izvedeno je zbog ispitivanja mogućeg utjecaja ionske jakosti na viskoznost.

3.2. Određivanje viskoznosti

Za mjerenje viskoznosti koristio se Ostwaldov viskozimetar. Mjerenja su izvođena pri temperaturi od 24°C . Viskozimetar je pričvršćen na stalak. U cijev viskozimetra, označenu slovom C, stavljeno je 5 mL uzorka pomoću mikropipete pazeći pritom da se ne stvore zračni mjehurići. Prije svakog mjerenja, viskozimetar je ispran 2-3 puta usisavanjem ispitivane tekućine. Usisavanjem pomoću propipete, razina tekućine podignuta je iznad oznake A na viskozimetru. Skinuta je propipeta i tekućina se pod utjecajem gravitacijske sile počela spuštati kroz kapilarni dio viskozimetra. Kada je donji dio meniskusa došao do oznake A, uključen je zaporni sat i mjereno je vrijeme istjecanja do oznake B. Obavljeno je 10 mjerenja za svaku tekućinu pri čemu je bilo važno da ne bude većih odstupanja u vremenima. Za svako mjerenje izračunata je srednja vrijednost i standardna devijacija.

3.3. FTIR-spektroskopska analiza

Uzorci silikona analizirani su infracrvenom spektroskopijom pomoću uređaja Shimadzu FTIR 8400S. Za snimanje spektara, korištena je tekućinska ćelija s kristalima koji su netopivi u vodi (KRS-5, talijev bromo-jodid, TlBr-TII). Prije stavljanja uzorka u ćeliju snimljena je pozadinska slika („background“). Tekućinska ćelija sastoji se od dvije metalne pločice na koje se stavlja silikonska guma na koju se zatim stavlja kristal talijeva bromo-jodida. Na kristal se stavlja tanka folija (debljine 0,05 mm) koja pomaže da se uzorak ne razlije (Slika 18.). Ćelija s uzorkom stavljena je na odgovarajuće mjesto u uređaj. Snimljeni su spektri u valnom području od 400 do 4000 cm^{-1} (u rezoluciji 4 cm^{-1}).



Slika 18. Priprema tekućinske ćelije za snimanje uzorka

4. Rezultati i diskusija

4.1. Viskoznost

4.1.1. Uzorak LK-Ag-Platinum

Tablica 3. Prikaz vremena istjecanja H₂O, te ispitivane otopine silikona LK-Ag-Platinum različitih koncentracija određenih pomoću Ostwaldovog viskozimetra pri $\theta=24^{\circ}\text{C}$.

Mjerenja	H ₂ O	LK-Ag-Platinum 0,5%	LK-Ag-Platinum 1%	LK-Ag-Platinum 2,5%	LK-Ag-Platinum 5%	LK-Ag-Platinum 10%
1	33,9	36,2	41,2	59,5	127,1	397,8
2	34	36,8	40,9	59,8	129,7	309,7
3	33,8	37	41,3	59,5	129,6	
4	34	36,7	41,1	59,6	130,1	
5	34,1	36,5	41,2	59,8	131,2	
6	34,2	37,7	41	59,6	129,1	
7	34,2	37,1	41	59,5		
8	34,2	37,2	41,1	59,9		
9	34,2	37,2	41	59,6		
10	34,1	36,8	40,7	59,4		
x	34,07	36,92	41,05	59,62	128,46	353,75
σ	0,141	0,418	0,172	0,162	1,358	62,297

Izračunata je **relativna viskoznost** prema relaciji : $\eta_{\text{relativna}} = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{t}{t_0}$

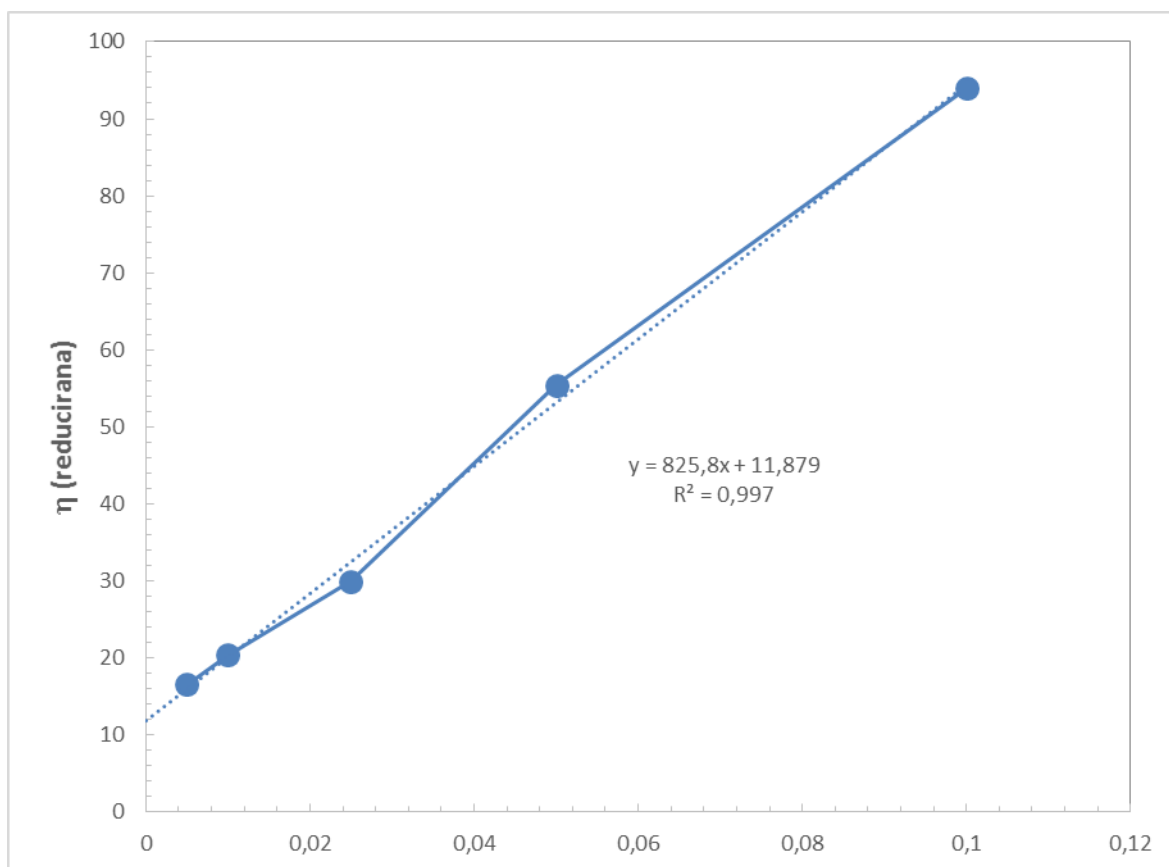
Izračunata je **specifična viskoznost** prema relaciji: $\eta_{\text{specifična}} = \frac{n-n_0}{\eta_0} = \frac{t-t_0}{t_0} = \eta_{\text{rel}} - 1$

Izračunata je **reducirana viskoznost** prema relaciji : $\eta_{\text{reducirana}} = \frac{\eta_{\text{specifična}}}{C}$

Izračunata je **inherentna viskoznost** prema relaciji : $\eta_{\text{inherentna}} = \frac{\ln \eta_{\text{relativna}}}{C}$

Tablica 4. Prikaz izračunatih vrijednosti različitih vrsta viskoznosti.

Otopine	$\eta(\text{relativna})$	$\eta(\text{specifična})$	$\eta(\text{reducirana})$	$\eta(\text{inherentna})$
LK-Ag-Platinum 0,5%	1,083	0,083	16,6	15,94
LK-Ag-Platinum 1 %	1,204	0,204	20,4	18,56
LK-Ag-Platinum 2,5%	1,749	0,749	29,96	22,36
LK-Ag-Platinum 5%	3,771	2,771	55,42	26,54
LK-Ag-Platinum 10%	10,392	9,392	93,92	23,41



Slika 19. Određivanje intrinzične viskoznosti uzorka LK-Ag-Platinum

Na Slici 19. prikazano je grafičko određivanje intrinzične viskoznosti uzorka LK-Ag-Platinum ($[\eta] = 11,9 \text{ dL/g}$) iz podataka za reduciranu viskoznost, a na temelju izmjerenih relativnih viskoznosti odnosno vremena tečenja uzoraka silikona različitih koncentracija.

4.1.2. Uzorak LK-7300

Tablica 5. Prikaz vremena istjecanja H₂O, te ispitivane otopine silikona LK-7300 različitih koncentracija određenih pomoću Ostwaldovog viskozimetra pri $\theta=24^{\circ}\text{C}$.

Mjerenja	H ₂ O	LK-7300 0,5%	LK-7300 1%	LK-7300 2,5%	LK-7300 5%	LK-7300 10%
1	33,9	33,6	36,7	38,2	43,9	56,6
2	34	33,9	36,4	38,1	44	56,8
3	33,8	33,9	36,2	38,1	43,8	57,1
4	34	34,1	36,3	38,2	44,2	57,5
5	34,1	34,3	36,4	38,1	44,4	57,8
6	34,2	33,9	36,7	38	44,2	57,6
7	34,2	33,8	36,5	38,2	44,2	57,5
8	34,2	33,9	36,4	38,2	44	57,4
9	34,2	33,7	36,5	38,1	44,1	57
10	34,1	33,9	36,6	38	44,4	57,6
x	34,07	33,9	36,47	38,12	44,12	57,29
σ	0,142	0,2061	0,1636	0,0788	0,1988	0,3928

Izračunata je **relativna viskoznost** prema relaciji : $\eta_{\text{relativna}} = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{t}{t_0}$

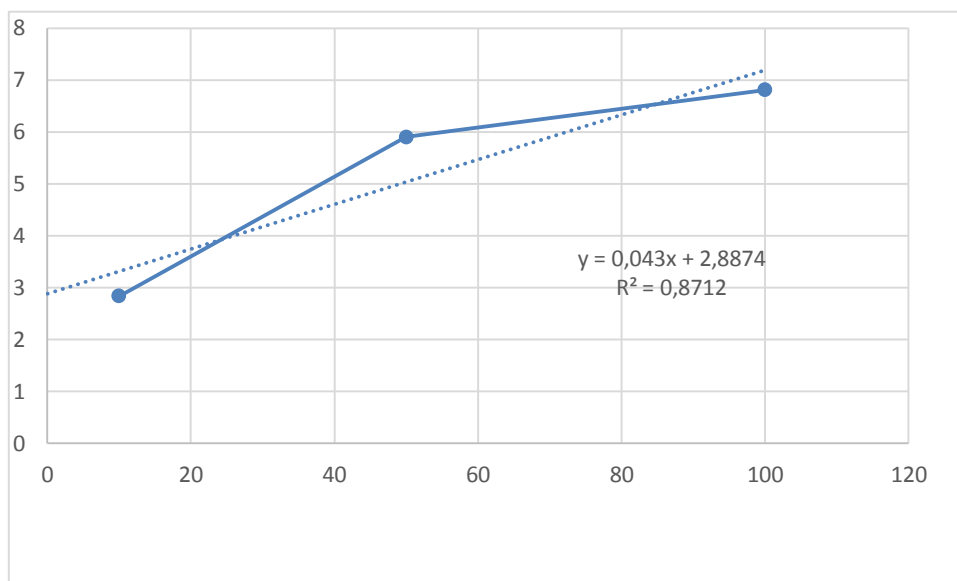
Izračunata je **specifična viskoznost** prema relaciji: $\eta_{\text{specifična}} = \frac{n-n_0}{\eta_0} = \frac{t-t_0}{t_0} = \eta_{\text{rel}} - 1$

Izračunata je **reducirana viskoznost** prema relaciji : $\eta_{\text{reducirana}} = \frac{\eta_{\text{specifična}}}{C}$

Izračunata je **inherentna viskoznost** prema relaciji : $\eta_{\text{inherentna}} = \frac{\ln \eta_{\text{relativna}}}{C}$

Tablica 6. Prikaz izračunatih vrijednosti različitih vrsta viskoznosti.

Otopine	η (relativna)	η (specifična)	η (reducirana)	η (inherentna)
LK-7300 0,5 %	0,995	-0,005	-1	-1
LK-7300 1%	1,071	0,071	2,84	6,85
LK-7300 2,5 %	1,118	0,118	2,36	4,46
LK-7300 5%	1,295	0,295	5,9	5,17
LK-7300 10%	1,682	0,681	6,81	5,19



Slika 20. Određivanje intrinzične viskoznosti uzorka LK-7300

Na Slici 20. prikazano je grafičko određivanje intrinzične viskoznosti uzorka LK-7300 ($[\eta] = 2,9 \text{ dL/g}$) iz podataka za reduciranu viskoznost, a na temelju izmjerenih relativnih viskoznosti odnosno vremena tečenja uzoraka silikona različitih koncentracija. Ova vrijednost je značajno niža od one dobivene za polimer Lk-Ag-Platinum što ukazuje na neke razlike u strukturi koje dovode do relativno značajnih razlika u kompatibilnosti polimera i otapala (voda - hidrofilnost)

4.1.3. Uzorak LK-7300 u elektrolitu

Tablica 7. Prikaz vremena istjecanja otopine KCl (koncentracije 0,01 mol dm⁻³), te 5%-tne otopine silikona LK-7300 u otopini KCl određenih pomoću Ostwaldovog viskozimetra pri $\theta=24^{\circ}\text{C}$.

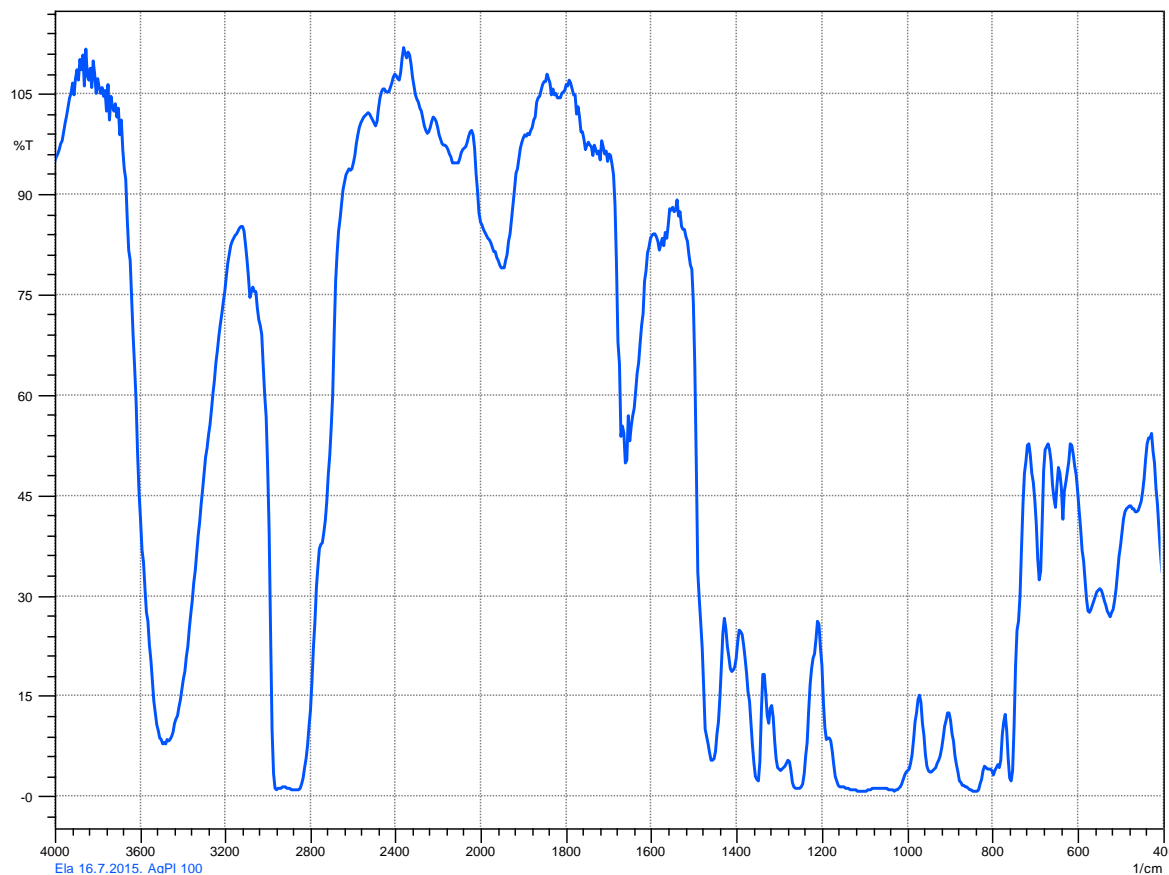
Mjerenja	0,01 M otopina KCl	LK-7300 5%
1	32,8	42,5
2	32,5	42,7
3	32,9	42,7
4	32,8	42,8
5	33,3	43
6	33	43,2
7	33,2	43,1
8	32,9	42,5
9	32,7	42,7
10	33	42,5
x	32,91	42,77
σ	0,2331	0,2541

Izračunata je **relativna viskoznost** prema relaciji : $\eta_{\text{relativna}} = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{t}{t_0} = 1,2996$

Ovo mjerenje izvedeno je zbog ispitivanja mogućeg utjecaja ionske jakosti otopine na viskoznost. Usporedba relativne viskoznosti u KCl i u H₂O pokazuje da ionska jakost otopine nema značajnijeg utjecaja.

4.2. FTIR analiza

4.2.1. Uzorak LK-Ag-Platinum

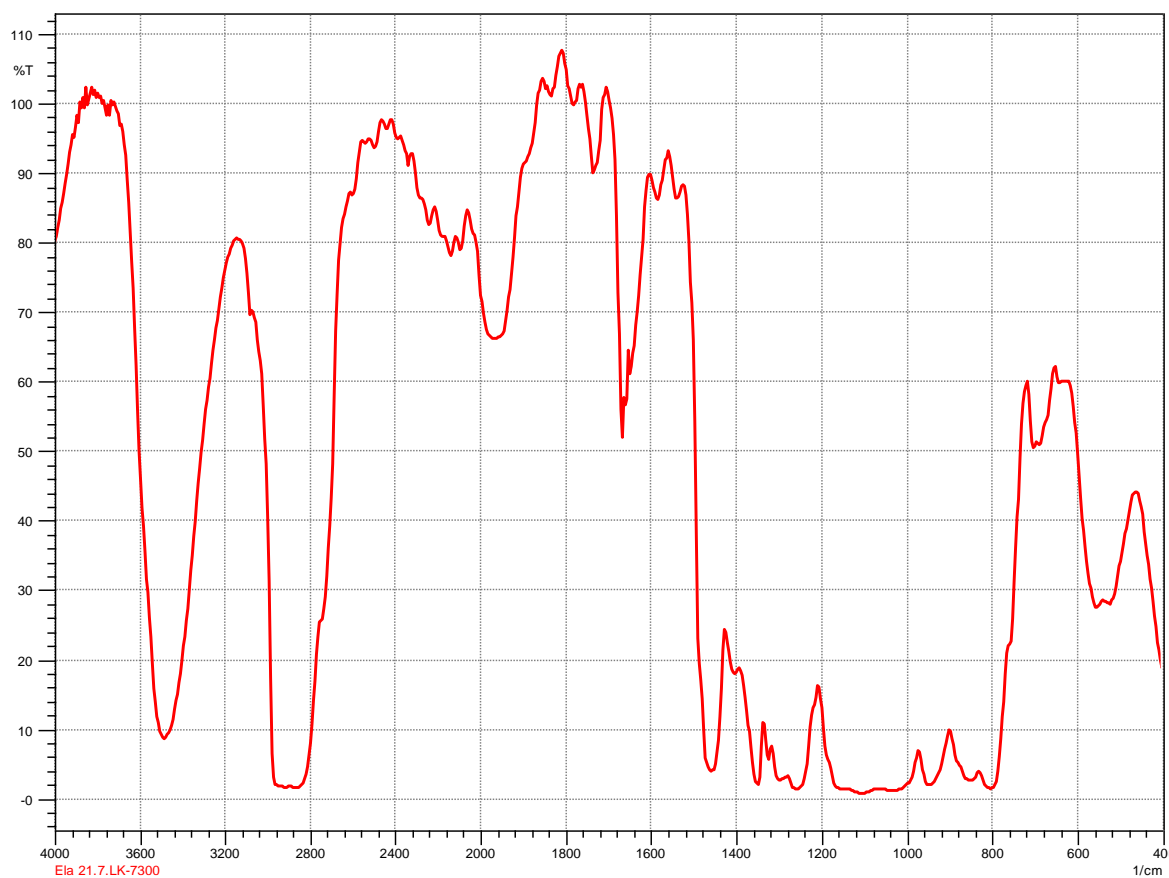


Slika 21. IR spektar uzorka LK-Ag-Platinum

Tablica 8. Prikaz karakterističnih vrpca i njihov intezitet u IR spektru uzorka LK-Ag-Platinum.

3500-3200 cm^{-1}	OH skupina
3000-2800 cm^{-1}	CH_3 skupina
1450 cm^{-1}	Asimetrično istezanje CH_3
$\sim 1420 \text{ cm}^{-1}$	$-\text{CH}_2-$ savijanje
1320–1000 cm^{-1}	C-O istezanje
1300 cm^{-1}	Simetrično istezanje CH_3
$\sim 1260 \text{ cm}^{-1}$	$\text{Si}-\text{CH}_3$
$\sim 1250 \text{ cm}^{-1}$	$(\text{CH}_3)_3\text{-Si}$
1130-1000 cm^{-1}	Si-O-Si
1000 cm^{-1}	Si-O

4.2.2. Uzorak LK-7300



Slika 22. IR spektar uzorka LK-7300

IR spektar uzorka LK-7300 je gotovo identičan IR spektru uzorka LK-Ag-Platinum što pokazuje da posjeduju iste funkcionalne skupine.

Tablica 9. Prikaz karakterističnih vrpca i njihov intezitet u IR spektru uzorka LK-7300.

3500-3200 cm^{-1}	OH skupina
3000-2800 cm^{-1}	CH_3 skupina
1450 cm^{-1}	Asimetrično istezanje CH_3
$\sim 1420 \text{ cm}^{-1}$	$-\text{CH}_2-$ savijanje
1320–1000 cm^{-1}	C-O istezanje
1300 cm^{-1}	Simetrično istezanje CH_3
$\sim 1260 \text{ cm}^{-1}$	$\text{Si}-\text{CH}_3$
$\sim 1250 \text{ cm}^{-1}$	$(\text{CH}_3)_3\text{-Si}$
1130-1000 cm^{-1}	$\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$
1000 cm^{-1}	$\text{Si}-\text{O}$

5. Zaključak

U ovom radu opisane su neke karakteristike hidrofilno modificiranih silikona. U literaturnom dijelu, ukratko je opisano što su silikoni, kako se dobivaju i imenuju, te njihova svojstva i gdje se oni primjenjuju. Za izvođenje eksperimentalnog dijela korištena su dva uzorka silikona: LK-7300 i LK-Ag-Platinum koji su dobiveni od tvrtke ELKAY SILICONES. Određivala se viskoznost otopina silikona različitih koncentracija. Analiza uzoraka izvršila se FTIR-spektroskopijom.

FTIR analiza je pokazala da su ispitivani uzorci gotovo identični, odnosno da posjeduju iste funkcionalne skupine, no uočeno je da se viskoznost ispitivanih uzoraka dosta razlikuje. Kod uzorka LK-Ag-Platinum viskoznost je veća i raste s porastom koncentracije, dok je kod uzorka LK-7300 viskoznost puno manja i sporo raste, čak odlazi u negativu (relativna).

Može se zaključiti da se radi o vrlo sličnim molekulama. Pretpostavlja se da su molekule slično građene. Iako su njihovi IR - spektri gotovo identični, rezultati dobiveni mjerenjem viskoznosti pokazuju da se uzorci ipak po nečemu razlikuju. Pretpostavlja se da uzorak LK-7300 ima duži hidrofilni lanac, te zato dolazi do pada viskoznosti. Uzorci se vjerojatno razlikuju ili u konformaciji ili imaju različitu molarnu masu.

6. Literatura

1. C. A. Pearce, Silicon chemistry and Applications, The Chemistry Society, New York, 1972., Number 20
2. F.G.A.Stone, W.A.G.Graham, Inorganic Polymers, Academic Press, New York, London, 1962.
3. M.A.Ruiz, A.Hernandez, J.M.Llacer and V.Gallardo, The Development of Silicone Chemistry: II.Hydrophilic Silicones, May 2003.
4. <https://www.dowcorning.com/>
5. http://biologija.unios.hr/webbio/wp-content/uploads/2012/materijali/skripta_zafizikalnu.pdf
6. <http://www.saylor.org/site/wp-content/uploads/2011/04/Viscosity.pdf>
7. <http://vlab.amrita.edu/?sub=2&brch=190&sim=603&cnt=2>
8. <http://mmrc.caltech.edu/FTIR/FTIRintro.pdf>
9. <http://elkaysilicones.com/product-detail.php?indid>
10. <http://www.elkaysilicones.com/technology/Silicone%20review%20paper.pdf>
11. <http://www.gelest.com/goods/pdf/Library/11Infra.pdf>